

सॉल-जैल निर्मित नैनो क्रिस्टलीय जिंक आक्साइड तनु परतों का अभिलक्षण

मंजु अरोड़ा एवं आर.पी.पंत

सारांश

नैनो क्रिस्टलीय जिंक आक्साइड (ZnO) की तनु परतों का संश्लेषण सिलिकॉन क्रियाधारों पर जिंक एसिटेट डाईहाइड्रेट सॉल द्वारा स्पिन निक्षेपित किया है। प्राप्त तनु परत का संरचनात्मक, पृष्ठीय/सतहीय व प्रकाशीय गुणधर्मों का अभिलक्षण एक्स किरण विवर्तन (XRD), स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप (SEM), प्रकाशीय संदीप्ति (Photoluminescence) और फूरिये रूपांतरण अवरक्त (FTIR) स्पैक्ट्रोस्कोपिक तकनीकों द्वारा किया है। एक्स आर डी द्वारा इस नैनोक्रिस्टलीय परत की वुरटजाइट संरचना की पुष्टि की है जोकि ZnO तनु परत के संश्लेषण की पुष्टि करता है। SEM माइक्रोग्राफ में ZnO की नैनोवायर संरचना है। प्रकाशीय संदीप्त स्पैक्ट्रम में एक्सिटानिक बैंड उत्सर्जन नील व हरित अंतराकाशी Zn दोषों और आक्सीजन रिक्तिकाओं से संबंधित बैंड क्रमशः 383 दउए 440 nm और 520 nm पर प्राप्त हुए हैं। अवरक्त पारगमन स्पैक्ट्रम में ZnO का सतत् कंपन बैंड 410 cm^{-1} प्राप्त हुआ है।

प्रस्तावना

जिंक आक्साइड का सूक्ष्मतरंग अवशोषक (microwave absorber), प्रकाश उत्सर्जक डायोड (light emitting diode), प्रकाशीय स्विचों, सौर सेल (solar cell) और संसूचकों (sensor) के अनुप्रयोगों से संबंधित व्यापक अध्ययन हो रहा है। ZnO अर्धचालक का विस्तृत बैंड गैप ऊर्जा 3.37 eV और विशाल एकसितान बाइंडिंग ऊर्जा 60 meV है। ZnO एक महत्वपूर्ण पदार्थ है जो विभिन्न प्रकार के नैनो संरचनाएं प्रदर्शित करता है। जैसे कि एकल-विमीय (one dimensional) छड़ें, ट्यूबों, वायरों और कील, द्वि-विमीय (two dimensional) चादरें, षटकोण,

शिखर और कांगों तथा बहु-विमीय (multi dimensional) फूल इत्यादि। पिछले दशक में इन नैनो संरचनाओं का सफलतापूर्वक संश्लेषण किया जा चुका है लेकिन इनके गुणधर्मों पर अभी भी अनुसंधान चल रहा है।

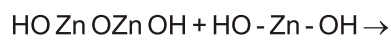
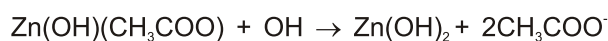
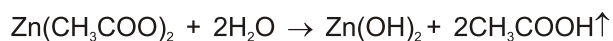
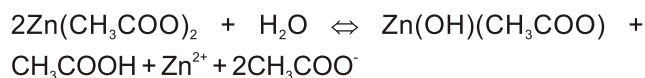
ZnO की नैनो संरचनाओं का संश्लेषण विभिन्न प्रकार की भौतिक व रसायनिक प्रक्रियाओं द्वारा किया जा रहा है। जिनमें विद्युत रसायनिक विलेपन, हाइड्रोथर्मल, सपटर विलेपन एवं वाष्प विलेपन प्रक्रियाओं का मुख्यतः प्रयोग किया जाता है। यह प्रक्रियाएं ज्यादातर उच्च तापमान पर या गैस सांद्रता या बहाव दर या आरंभिक पदार्थों की उपलब्धता में कठिनाई इत्यादि से प्रभावित होती है। इसी संदर्भ में हमने कम लागत की और पर्यावरण सुरक्षित सॉल-जैल तकनीक का उपयोग ZnO नैनो तनु परतों का संश्लेषण 25% जिंक एसिटेट डाईहाइड्रेट के सॉल द्वारा सिलिकॉन क्रियाधारों पर किया है। यह एक अतिसरल व विशाल पैमाने पर उत्पादन की दृष्टि से उत्कृष्ट प्रक्रिया है। इस अध्ययन में हमने ZnO के निर्माण की क्रियाविधि पर भी चर्चा की है।

प्रायोगिक विवरण

ZnO की तनु परतें सॉल-जैल स्पिन प्रक्रिया द्वारा सिलिकॉन क्रियाधारों पर निक्षेपित की है। तनु परतों के संश्लेषण से पूर्व सिलिकॉन क्रियाधारों के पृष्ठीय सतह को हाइड्रोफिलिक बनाने के लिए इन्हें HNO_3 अम्ल में आधा घंटा उबाला था। इसके पश्चात सिलिकॉन वेफरों को आयन रहित जल द्वारा कई बार धो कर सुखा दिया था। इस प्रक्रिया में सिलिकॉन की सतह आक्सीडाइज हो जाती है और वह पृष्ठ पर SiOH बनाता है जोकि ZnO की तनु परतों की सिलिकॉन क्रियाधारों पर पकड़ मजबूत करती है। 25% $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ सांद्रता का सॉल

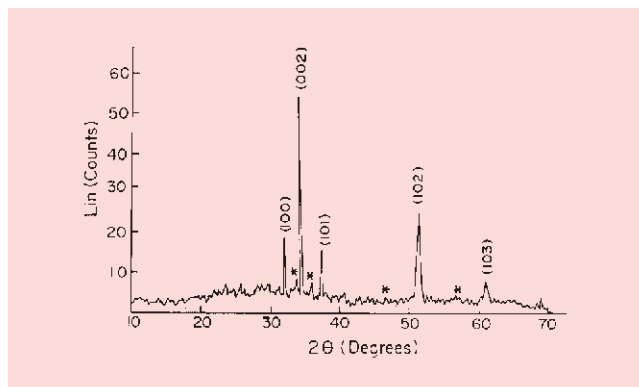
आइसोप्रोपाइल अल्कोहल में पर तैयार किया है। इसकी पारदर्शिता के लिए डाइएथेनोल एमीन की कुछ बूंदें बूंद-बूंद कर डाली थी। परतों के निक्षेपण के लिए सर्वप्रथम आक्सीकृत सिलिकॉन वेफर को प्रचक्रण विलेपन यूनिट के सेम्पल होल्डर में लगाया। फिर वेफर पर सॉल का घोल ड्रापर द्वारा बूंद-बूंद डाला और फिर वेफर को 3000-4000 rpm पर घुमाया, फिर इस परत को 80 °C पर सुखा कर पुनः इस प्रक्रिया को दस बार दोहराया गया। फिर इस परत को 300°C पर एक घंटा अनीलीकृत किया और अब नैनोक्रिस्टलीय जिंक आक्साइड की तनु परतें प्राप्त की जिनकी मोटाई लगभग 2500 Å है।

ZnO के निर्माण की रसायनिक क्रियाविधि



परिणाम व विवेचना

नैनो क्रिस्टलीय ZnO तनु परत का एक्स-किरण चित्र 1 में दिखाया गया है। प्राप्त शिखरों को जे.सी.पी.डी.एस. (JCPDS) कार्ड नं. 36-141 ZnO वरुटजाइट संरचना पर आधारित शिखरों के अभिविन्यासों को निर्दिष्ट

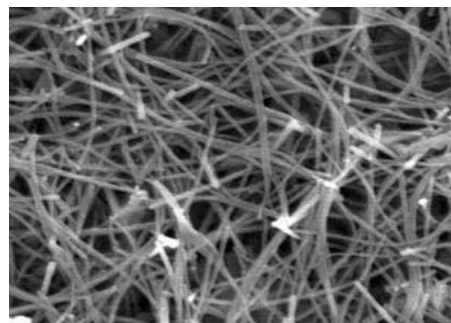


चित्र 1. नैनो क्रिस्टलीय ZnO तनु परत का एक्स-किरण विवर्तन

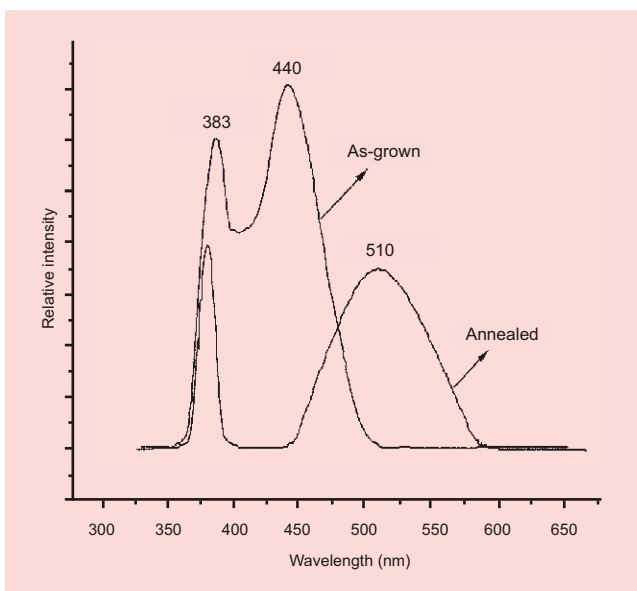
किया। यह विवर्तन नमूना इस परत के बहुक्रिस्टलीय प्रकृति को दर्शाता है तथा (002) वरणात्मक अभिविन्यास है। विवर्तन चित्र 1 में दिखाया गया है। प्राप्त शिखरों को जे.सी.पी.डी.एस. (JCPDS) कार्ड नं. 36-141 ZnO वरुटजाइट संरचना पर आधारित शिखरों के अभिविन्यासों को निर्दिष्ट किया। यह विवर्तन नमूना इस परत के बहुक्रिस्टलीय प्रकृति को दर्शाता है तथा (002) वरणात्मक अभिविन्यास है।

SEM माइक्रोग्राफ में इस परत की सतह एक समान निक्षेपित है और कोई दरार नहीं है। इस परत की नैनोवायर संरचना को चित्र 2 में प्रदर्शित किया है। प्रकाशीय गुणधर्म का अन्वेषण प्रकाश संदीप्ति तकनीक द्वारा किया है। इस संदर्भ में पूर्व व पश्चात अनीलीकृत ZnO नैनो तनु परत का स्पेक्ट्रम चित्र 3 में प्रस्तुत किया है। अनीलीकरण से पूर्व में 383 nm और 440 nm पर दो बैंड प्राप्त हुए हैं जबकि अनीलीकृत परत में 440 nm बैंड लुप्त हों गई है और एक नयी चौड़ी बैंड 520 nm पर प्राप्त हुई है। 383 nm बैंड को एक्सिटान बैंड एज उत्सर्जन बैंड निर्दिष्ट किया है। जबकि 440 nm और 520 nm के नील और हरित बैंड क्रमशः अंतराकाशी (interstitial) Zn दोषों और आक्सीजन रिक्तिकाओं (vacancies) के कारण प्राप्त हुए हैं। अनीलीकरण के द्वारा अंतराकाशी (interstitial) Zn परत के लैटिस नेटवर्क में सम्मिलित होता है और आक्सीजन रिक्तिकाओं का संवर्धन हुआ है।

अवरक्त पारगमन स्पेक्ट्रम अनीलीकरण से पूर्व व पश्चात दोनों परतों का 4000-400 cm⁻¹ प्रसार में सामान्य



चित्र 2. नैनो क्रिस्टलीय ZnO तनु परत का SEM माइक्रोग्राफ



चित्र 3. पूर्व व अनीलीकरण पश्चात ZnO नैनो तनु परत का प्रकाश संदीप्ति स्पेक्ट्रम

तापमान पर रिकार्ड किया है। पूर्व अनीलीकृत अवस्था पर गमन स्पेक्ट्रम में एसिडेट और ZnO के कंपन बैंड प्राप्त किए हैं। इन्हें -COOH और Zn-O group के सतत कंपन बैंड निर्दिष्ट किया है। जबकि अनीलीकृत नैनोक्रीस्टलीय ZnO परत में केवल Zn-O का सतत आबंध कंपन बैंड 410 cm^{-1} पर मिला क्योंकि अनीलीकरण प्रक्रिया के दौरान एसिडेट आयन खंडित हो जाते हैं और केवल का सतत आबंध कंपन बैंड ही प्राप्त हुआ।

निष्कर्ष

नैनोक्रीस्टलीय ZnO तनु परतों का सिलिकॉन क्रियाधारों पर साल-जैल प्रक्रिया द्वारा सफलतापूर्वक निक्षेपण। XRD स्पेक्ट्रोस्कोपी द्वारा वरुटजाइट संरचना की पुष्टि की है। SEM माइक्रोग्राफ में नैनोवायर संरचना दर्शाई है। प्रकाशीय संदीप्त स्पेक्ट्रम में एक्सिटॉनिक बैंड उत्सर्जन नील व हरित अंतराकाशी Zn दोषों और आक्सीजन रिक्तिकाओं से संबंधित बैंड प्राप्त हुए हैं।

सन्दर्भ

1. जैड डबल्यू झाउ, डब्ल्यू.एम.पेंग, एस.वाई.की, एच डेंग, जनरल ऑफ मैटीरियल्स प्रोसिडिंग टैक्नालॉजी, 89-90 (1999) 415.
2. वाई डू, एम, एस झांग, जे हांग, वाई शेन क्यू, शेन, जेड यिन, एप्लाइड फिजिक्स, 76 (2003) 171.
3. एच किंड, एच क्यू यॉन, बी मैसर, एम लॉ, पी डी यांग, एडवांस्ड मैटीरियल्स, 14 (2002), 15.
4. जैड एल वांग, जरनल ऑफ फिजिक्स : कंडेंस्ड मैटर 16 (2004) आर 828.
5. जैड फेन, जे जी लु जरनल नैनोसाइंस एण्ड नैनोटैक्नोलॉजी, 5 (2005) 1561.
6. जे बी बैसटर, ई सी आएदिल, एप्लाइड फिजिक्स लैटर्स 85 (2005) 053114.
7. जे पी लीचू, एक्स टी हुआंग जरनल ऑफ सॉलिड स्टेट कैमिस्ट्री 179 (2006) पी 43.
8. जि एस हुआंग, वी फू लिन, जरनल ऑफ एप्लाइड फिजिक्स, 103 (2008) 014304.
9. एच झांग, जिंग फेंग, जु वांग एम झांग, मैटीरियल्स लैटर्स, 61 (2007) 5202.
10. एस डी सगपिन, जी झाजिक, जैड सी ओरेल, मैटीरियल्स लैटर्स 61 (2007) 2783.
11. बी लीयू, जैड फू, वाई बी जिया, एप्लाइड फिजिक्स लैटर्स 79 (2001) 943.
12. जी बी सन, एम एच काओ, वाई एच वांग, सी डबल्यू हु, वाई सी लीयू, एल रेल, जैड एफ यू, मैटीरियल्स लैटर्स 60 (2006) 2777.